Ueber Schalleitung durch die Zähne

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der

Zahnärztlichen Doktorwürde

an der

Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Berlin

vorgelegt von

Erich Wegener

aus Berlin

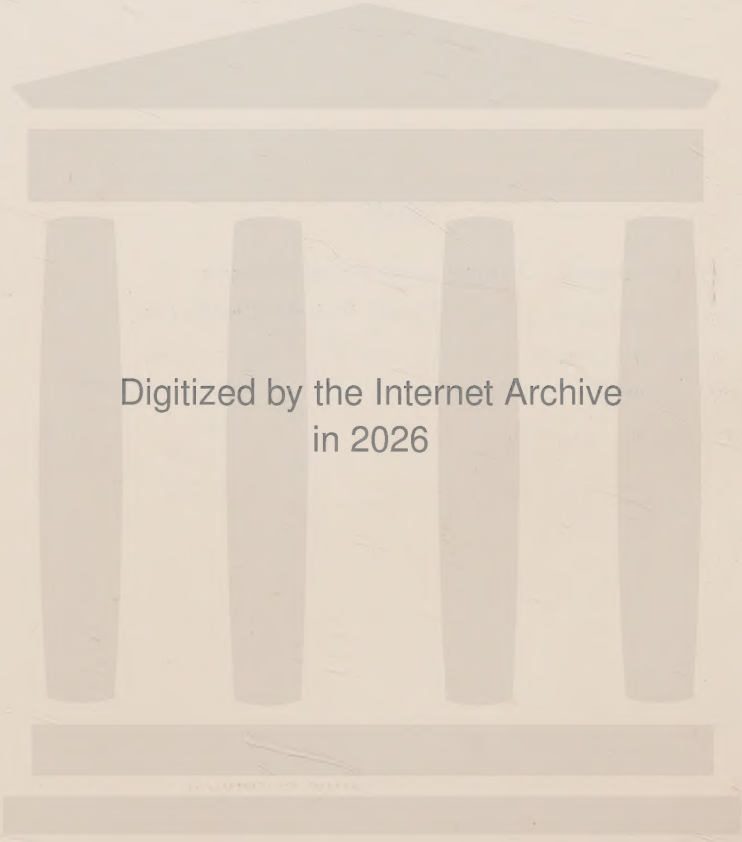
Tag der Promotion: 12. Februar 1929

Gebrüder Hoffmann, Charlottenburg, Schillerstraße 44

Gedruckt mit Genehmigung
der
Medizinischen Fakultät der Universität Berlin
Dekan: Prof. Dr. v. Eicken.
Referenten: Prof. Dr. Bois du Reymond.
Prof. Dr. W. Trendelenburg.

Inhalt.

1. Begriff der dentalen Leitung und Fragestellungen
2. Aeltere Forschungen über die physiologische Schalleitung
3. Physikalische Grundbedingungen unserer Untersuchung
4. Unsere Versuche
5. Erörterung der Ergebnisse



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/ueberschalleitun0000eric

1. Begriff der dentalen Leitung und Fragestellungen.

Schwingende oder tönende Körper erzeugen in der Luft Schallwellen, durch die das Gehörorgan erregt werden kann. Die Erregung wird durch den Hörnerven zu dem Schläfenteil der Großhirnrinde geleitet, mit deren Tätigkeit der Eindruck einer Schallwahrnehmung im Bewußtsein verbunden ist. Es gibt nun zwei Wege, auf denen die Schallwellen dazu gelangen können, das Gehörorgan in Erregung zu versetzen: 1. Die Leitung durch die Luft in den Gehörgang, „aerotympanale Leitung"; 2. Die Fortleitung durch Schallwellen in dem Kopf selbst, Knochenleitung, „ossale" oder besser „osteotympanale" Leitung. Bei der Knochenleitung ist wiederum zwischen zwei verschiedenen Fällen zu unterscheiden, die als „direkte" und „indirekte" Knochenleitung bezeichnet werden. Direkte Knochenleitung liegt vor, wenn die Schwingungen der Schallquelle ohne Vermittlung von Luftwellen auf die Schädelknochen übergehen, indirekte, wenn der Schall sich aus der Luft auf die Schädelknochen fortpflanzt. In beiden Fällen bleibt die Frage offen, auf welchem Wege die Schwingungen der Knochensubstanz auf das Gehörorgan selbst übertragen werden? Sie könnten entweder unmittelbar auf das Corti'sche Organ oder dessen Sinneszellen übergehen, oder sie könnten sich der Luft in der Paukenhöhle mitteilen und dadurch wie äußere Luftwellen wirken. Unter normalen Verhältnissen bestehen aerotympanale und osteotympanale Leitung nebeneinander, wobei die letzte vorwiegt.

Die vorliegende Untersuchung betrifft ausschließlich die direkte Knochenleitung, und insbesondere den Fall, daß die Schwingungen der Schallquelle unmittelbar auf die Zähne einwirken.

Ueber die Schädelknochenleitung sind viele Untersuchungen angestellt und umfangreiche Schriften verfaßt worden. Dabei

ist man aber auf die verschiedenen Umstände, unter denen die Knochenleitung zu beobachten ist, auffallenderweise nicht eingegangen, sondern es ist immer nur von der Knochenleitung im allgemeinen, als von einer einheitlichen Erscheinung die Rede. Dies spricht sich schon in der Bezeichnung „Schädelknochenleitung" aus: Die gewöhnliche Art, die Schädelknochenleitung zu zeigen, besteht darin, daß man den Stiel einer angeschlagenen Stimmgabel gegen den Kopf stemmt und nachweist, daß alsdann der Klang unabhängig von der Luftleitung wahrgenommen wird. Dabei berührt aber die schwingende Gabel keineswegs den Knochen selbst, sondern bleibt durch Haut usw. von den Knochen getrennt. Es handelt sich also genau genommen nicht um Knochenleitung, sondern um Leitung durch Weichteile und Knochen. Diese Ungenauigkeit des Ausdrucks ist umso auffälliger, weil allgemein bekannt ist, daß es eine Stelle am Schädel gibt, wo dessen feste Teile ohne Bedeckung von Weichteilen zu Tage treten, nämlich eben die Zähne. Es kann zwar eingewendet werden, die Leitung durch die Zähne, die nicht mit den Knochen verwachsen sind, sei streng genommen auch keine wirkliche Knochenleitung, aber niemand wird bestreiten, daß die Schalleitung durch die Zähne einer reinen Knochenleitung viel näher steht, als die Leitung durch den Schädel unter Vermittlung der äußeren Haut.

Die Schalleitung durch die Zähne ist ebenfalls oft untersucht worden, aber wiederum nur so, daß ihre besonderen Eigentümlichkeiten unberücksichtigt geblieben sind. Wenn man sich überlegt, auf welchem Wege die Schwingungen einer gegen die Zähne gehaltenen Stimmgabel zum Gehörorgan fortgeleitet werden, muß sich die Frage aufdrängen, ob nicht zwischen der Schalleitung von den Zähnen des Unterkiefers und denen des Oberkiefers ein Unterschied bestehe? Die Zähne des Oberkiefers stehen mit der Schläfenpyramide in unmittelbarer Knochenverbindung, allerdings nur durch die zum Teil sehr dünnen Wände des hohlen Oberkieferbeins. Der Unterkiefer als schalleitendes Organ bietet einen viel größeren Knochenquerschnitt dar, er ist aber vom Schädel durch das Polster des Zwischenknorpels getrennt, sodaß hier jedenfalls keine reine Knochenleitung besteht. Ebenso wie hier ein Unterschied in der Schalleitung zu erwarten ist, sollte man auch an-

nehmen, daß der Schall von den näher am Schläfenbein stehenden Zähnen aus stärker auf das Gehörorgan wirken werde, als von den entfernter gelegenen Zähnen aus. Weiter wäre zu untersuchen, wie sich die Schalleitung durch die Zähne gegenüber Tönen von verschiedener Höhe verhält, und endlich auch, ob und wie die verschiedenen Arten von Zahnprothesen den Schall leiten? Aus diesen Untersuchungen können sich vielleicht Schlüsse auf den Vorgang der Knochenleitung im allgemeinen ergeben.

Diese Betrachtungen lassen es der Mühe wert erscheinen, die Leitung des Schalles von den Zähnen zum Gehörorgan eingehender zu untersuchen, als es bisher geschehen ist.

Um den Sonderfall der Leitung durch die Zähne im Gegensatz zur osteotympanalen Leitung im allgemeinen zu kennzeichnen, führen wir dafür den Namen „dentale Leitung“ ein, von der als Unterarten „denti-maxillare Leitung“ und „denti-mandibulare Leitung“ unterschieden werden können.

2. Aeltere Forschungen über die physiologische Schalleitung.

Die Anfänge der Erkenntnis vom Wesen des Gehörorgans reichen schon mehrere Jahrhunderte zurück, und viele Forscher haben sich im Laufe dieser Zeit mit dem Vorgange der Leitung auf dem Luftwege und durch die Knochen beschäftigt.

Im 16. Jahrhundert lehrten Ingrassias, Vesalius, Fallopius, die Grundzüge der Anatomie des inneren Ohres. Im 17. und 18. Jahrhundert fügten Du Verney, Valsalva, Zinn, Scarpa u. a. genauere Angaben zur Anatomie und Physiologie des Gehörorgans zu. Aber erst die Einführung physikalischer Forschungsweise in die Physiologie, um die Mitte des 19. Jahrhunderts, führte zu wesentlichen Fortschritten der physiologischen Akustik, Helmholtz (1863—70) krönte die älteren Arbeiten von Flourens (1824), Corti (1846), durch seine geniale Resonanztheorie, die bis heute ihr Ansehen bewahrt hat, obwohl schwerwiegende Einwände von Ewald, Wundt, Luca, Kalischer u. a. dagegen erhoben worden sind. In diesen Zeitraum fallen auch weitere Untersuchungen von Politzer, Luca, Mach, Kessel, Buck, Burnett, Weber-Ziel über die Knochenleitung und die schalleitende Funktion des äußeren und mittleren Ohres. Hieran schließen sich Bezold's

Arbeiten über die Physiologie des Schalleitungsapparates. — Trotz aller dieser Untersuchungen ist der Vorgang der Schalleitung zum Gehörorgan noch sehr dunkel. Auch die physikalische Lehre vom Schall läßt gerade in Bezug auf die Uebertragung der Schallwellen von festen Körpern auf Flüssigkeiten oder Gase und umgekehrt vieles zu wünschen übrig. Erst in neuester Zeit sind durch die Ausbildung elektrisch-akustischer Apparate große Fortschritte gemacht worden, doch sind diese neuen Hilfsmittel der physiologischen Forschung noch nicht zugute gekommen. Vollends die ärztliche Technik bedient sich zur Prüfung des Hörvermögens noch immer fast ausschließlich derselben Verfahren, die schon im 16. Jahrhundert im Gebrauch waren, Taschenuhr, Stimme und Stimmgabel. Da hierbei die Stärke des Schalles nicht genau bestimmbar ist, kann auch von genauer Bestimmung der Hörschärfe auf diesem Wege nicht die Rede sein. Man hat sich zwar seit langem bemüht, Vorrichtungen zur Erzeugung meßbarer Schallstärken herzustellen, von denen zum Belege hier eine Auswahl angeführt werden mag: Phonometer nach Lucae, Sprachdämpfer nach Mink, Politzer's Hörmesser, Metronom nach Mätzel, Hörmesser nach Stefanini, Apparate nach Hartmann, Jakobsohn, Lichtwitz, Kessel, Browne, Bryant, Ferreri, Gradenigo, Kümmel, Raoult u. a. Die große Zahl dieser Erfindungen, zusammen mit der Tatsache, daß keine von ihnen sich in der praktischen Medizin eigebürgert hat, beweist, daß die Aufgabe noch nicht gelöst ist. Auch wir selbst empfanden bei der vorliegenden Arbeit das Fehlen eines exakten Meßverfahrens und wurden dadurch genötigt, uns auf die Feststellung gröberer Unterschiede der Schalleitung zu beschränken.

3. Physikalische Grundbedingungen unserer Untersuchung.

Ehe wir unsere Untersuchung näher besprechen, mögen die wesentlichen physikalischen Bedingungen, die für unsere Versuche in Betracht kommen, in Kürze angegeben werden.

Die Schallschwingungen eines tönenden Körpers, etwa die einer Stimmgabel, können als abwechselndes Vorstoßen und Zurückweichen der Oberfläche des Körpers angesehen werden. Durch jeden Vorstoß werden die Luftteilchen in der unmittelbaren Nähe der Oberfläche von der Schallquelle fortgestoßen, beim

Zurückweichen der Oberfläche dagegen gewissermaßen zurückgesogen. Sie geraten also in Mitschwingungen, indem sie sich von ihrer ursprünglichen Ruhelage aus abwechselnd von der Schallquelle fort und wieder auf sie zu bewegen, ohne dabei im Ganzen von der Stelle zu rücken. Die Schallwellen werden darum als „longitudinale" Wellen bezeichnet, weil die Schwingungen in der Längsrichtung der Fortpflanzung des Schalles stattfinden. Bei dieser Bewegung nähern und entfernen sich die Luftteilchen, die unmittelbar von der Schallquelle in Bewegung gesetzt worden sind, den zunächst liegenden entfernteren Teilchen. Die Annäherung bedingt Verdichtung, die nachfolgende Entfernung Verdünnung der Luft. Indem die von der Verdichtung betroffenen Luftteilchen dem Drucke nachgeben, teilen sie wieder entfernteren Teilchen ihre Bewegung mit und so entsteht, wenn der tönende Körper dauernd gleichmäßig weiter schwingt, der Zustand, daß abwechselnd verdichtete und verdünnte Luftschichten sich in der Form stetig größer werdender Kugelschalen nach allen Seiten in den Raum hin ausbreiten. Die Geschwindigkeit der Ausbreitung, schlechthin als Schallgeschwindigkeit bezeichnet, ist für verschiedene Stoffe verschieden. Für nachstehende Stoffe werden folgende Schalleitungsgeschwindigkeiten in m/sec. angegeben:

Gasförmig:		Flüssig:		Fest:	
Wasserstoff	1265	Wasser	1437	Holz	3500—5500
Sauerstoff	316			Stahl	5300
Kohlensäure	257				
Luft	342				

Der Schall, gleichviel von welcher Schwingungszahl, pflanzt sich in einem bestimmten Stoff bei gleicher Temperatur gleich schnell fort.

Wäre das nicht der Fall, so könnten die Töne eines Musikstückes aus der Entfernung nie im richtigen Zusammenklang gehört werden: sie würden durcheinander klingen und alle Harmonie würde zerstört sein (10).

An jedem Ton ist „Höhe" und „Stärke" zu unterscheiden. Die Tonhöhe wird bestimmt von der Zahl der Schwingungen in 1 sec.: je größer die Schwingungszahl, desto höher der Ton. Das Gehör des Menschen vermag nur Töne wahrzunehmen,

deren Schwingungszahl zwischen 16 und 30 000 liegt. Die Tonstärke wird bestimmt durch die Größe der Ausschläge (Amplituden) der Schwingungen: je größer in dem gleichen Stoffe die Amplitude, desto stärker der Ton. In verschiedenen Stoffen sind aber die Amplituden für gleiche Schallstärke verschieden. Beim Uebergang des Schalles aus einem Stoffe in einen anderen ändert sich also im allgemeinen die Amplitude. Damit ist beim Uebergang aus einem weniger dichten Stoff in einen dichteren eine Reflektion der Schwingungen verbunden, sodaß nur ein Teil der Schallenergie weitergeleitet werden kann.

Diese Angaben zeigen, daß die Schalleitung innerhalb des menschlichen Körpers, die für unsere Untersuchung in Betracht kommt, sehr verwickelte Bedingungen darbietet. Wir finden hier überhaupt keine Leitungen, die aus einem Stoffe bestünden. In wechselnder Reihe sind feste, festweiche und flüssige Stoffe durcheinander geordnet. Haut, Muskel, Knorpel, Knochen, Gewebesäfte, Blut bilden die Bahn, die der Schall zu durchlaufen hat. Die Schallgeschwindigkeit der meisten dieser Stoffe ist noch unbekannt, und die Vorgänge beim Uebergang des Schalles aus einem in den anderen sind noch ganz dunkel.

Man hat versucht, festzustellen, mit welcher Stärke der Klang einer tönenden Stimmgabel auf das Gehörorgan übertragen wird, wenn die Stimmgabel auf verschiedene Stellen des Kopfes aufgesetzt wird. Kisch (1, 2), Schäfer (14,15), Kretschmann (15) und Giegel (15) fanden, daß, wenn die verklingende Stimmgabel an einen Teil der Ohrmuschel gehalten wurde, ihr Klang länger vernehmlich blieb, als wenn sie über dem Warzenfortsatz aufgesetzt wurde. Sie nahmen deshalb an, daß Knorpel den Schall besser leite als Knochen. Kirsch gab ferner an, daß Schallwellen von mittlerer Tonhöhe (128 bis 1024 Schwingungen) bei direkter Ohrmuschelleitung besser gehört würden als bei Kopfknochenleitung, während höhere oder tiefere Töne diesen Unterschied nicht zeigten.

Demgegenüber erklärt Luciani (5) in seiner „Physiologie“ den Knorpel für einen schlechten Schalleiter. Ebenso sagt Bernstein geradezu, der Ohrmuschelknorpel leite überhaupt nicht merklich den Schall. Beide stützen sich auf die Beobachtung, daß bei mit Wachs verstopftem Gehörgang das Ticken einer an

die Ohrmuschel gelegten Uhr nicht oder nicht so gut gehört wird, wie wenn die Uhr über dem Warzenfortsatz angedrückt wird.

Auch Tonndorf (6, 15) wendet sich gegen die Ansicht von Kisch, daß Knorpel ein besserer Schalleiter sei als Knochen. Wenn Kisch's Beobachtung zuträfe, daß eine Stimmgabel an der Ohrmuschel besser gehört werde als am Warzenfortsatz, so wäre das so zu erklären, daß der Ohrmuschelknorpel gleichsam als eine mit dem Stimmgabelstiel verkoppelte Platte stempelartig auf die in dem Gehörgang enthaltene Luft und dadurch auf das Trommelfell wirke. Tonndorf hat auch versucht, das Schallleitungsvermögen von Knochen und Knorpel auf rein physikalischem Wege zu bestimmen, ist aber nicht zu befriedigenden Ergebnissen gelangt.

Kisch (1, 2, 15) selbst bezeichnet die von ihm angenommene Knorpelleitung als eine kombinierte Knorpel-Knochen-Luft-Leitung, da ja der Knorpel in einer gewissen Tiefe der Gehörganges aufhört und durch Knochen ersetzt wird. Dann müßten die Schallwellen noch die Luft im Gehörgang durchlaufen, um zum Trommelfell, der Gehörknöchelchenkette und schließlich zum Labyrinth zu kommen.

In der Luft breiten sich die Schallwellen nach allen Seiten gleichmäßig aus, nehmen also die Gestalt von Kugelflächen an. Daraus folgt, daß die Energie des Schalles, da sie sich auf die ganze Kugeloberfläche verteilt, in jedem Punkte mit dem Quadrate der Entfernung von der Schallquelle abnehmen muß. Wird der Schall durch Röhren geleitet, so trifft dies jedoch nicht zu, weil die vom Schall übertragene Energie sich seitlich nicht ausbreiten kann. Dieser Ausnahmefall kommt auch bei unseren Versuchen in Betracht, wo die Schallwellen von der Schallquelle zu den Kopfknochen oder den Zähnen durch Draht geleitet werden. Wir werden darauf bei der Beschreibung der Versuche zurückkommen.

Es seien hier noch einige Angaben über die physikalischen Eigenschaften von Stimmgabeln eingeschaltet:

Die Schwingungszahl, also die Tonhöhe der Stimmgabeln, ist abhängig von der Länge und Dicke ihrer Zinken. Je länger und schwächer die Zinken, desto tiefer, je kürzer und stärker die Zinken, desto höher der Ton. Beim freien Tönen in der Luft

geben die Stimmgabeln nur einen schwachen Klang, dessen Energie aber doch ausreicht, eine gleichgestimmte Stimmgabel in nicht zu weiter Entfernung zum Mitschwingen zu bringen. Setzt man den Stiel der Gabel auf einen festen Körper, etwa eine Tischplatte, auf, so gerät diese im allgemeinen ebenfalls in Schwingungen und der Klang wird dadurch verstärkt. Dies geschieht aber nur, wenn die Schwingungszahl der Stimmgabel nicht zu hoch ist. Für den Uebergang der Stimmgabelschwingungen auf andere schwingungsfähige Körper gibt es demnach eine gewisse Grenze, die von der Höhe ihres Tones und des Eigentones des betreffenden Körpers abhängt. Vollends wenn man den Stiel der Stimmgabel fest mit einem eigens angefertigten Körper (Resonanzkasten) verbindet, dessen Eigenschwingungen mit denen der Stimmgabel übereinstimmen, wird die Klangwirkung sehr beträchtlich stärker.

Die Stimmgabeln werden für Hörprüfungen gewöhnlich in der Weise gebraucht, daß man sie durch Anschlagen zum Tönen bringt, und dann die Zeit mißt, die verstreicht, bis der Klang unter den gegebenen Bedingungen nicht mehr wahrnehmbar ist. Diese Art Prüfung kann nie einen absoluten Maßstab der Hörschärfe ergeben, sondern nur Vergleichswerte. Jacobsohn und Cowl (13) haben gemeinsam den Vorgang des Abklingens von Stimmgabeln untersucht. Nur wenn die Amplituden mit der Zeit und die Wahrnehmbarkeit des Klanges mit den Amplituden in gleichem Maße abnähme, könnte der Zeitraum, während dessen der Klang der Stimmgabel wahrnehmbar ist, als exakter Ausdruck des Hörvermögens gelten, wobei noch vorausgesetzt werden muß, daß die Stimmgabel immer genau gleich stark angeschlagen wird.

4. Unsere Versuche.

Bei unseren Experimenten dienten Stimmgabeln als Schallquellen. Es gibt verschiedene Arten dieser Gabeln. Die älteren Systeme stellen eine allerorts gleich dicke homogene, in Hufeisenform gebogene Stahllamelle von rechteckigem Querschnitt dar. Im Mittelpunkt des elastischen Bogens (der Angel) entspringt achsenrichtig der zylindrische Gabelstiel.

Bei den Gabeln nach König ist der Mittelteil des elastischen Bogens als ein dickerer Klotz geformt, an dem der zylindrische

Stiel sitzt. An den von uns benutzten Gabeln war der Stiel mit einem Gewinde versehen, sodaß eine Schraubenmutter aufgeschraubt werden konnte.

Gabeln tieferer Töne sollen mit weichem Material, höherer mit Metallschlägel angeschlagen werden. Die Stimmgabeln tieferer Töne nämlich geben beim Anschlagen im ersten Augenblick einen hellen scharfen Klang, dessen Höhe nicht mit derjenigen übereinstimmt, die bei der regelmäßigen Vibration besteht. Durch weichen Anschlag nimmt man den Vorton weg, es kommt gleich der richtige Ton. Gabeln für hohe Töne können infolge der Kürze ihrer Zinken nur mit hartem Schlägel zum Tönen gebracht werden. Gabeln, die in Form, Elastizität, Massenverteilung, Lagerung etc. vollkommen symmetrisch gebaut sind, schwingen am Stiel nur longitudinal. Kleine Abweichungen von der Symmetrie rufen transversale Schwingungen hervor, die die Dauer und Reinheit des Tones beeinträchtigen.

Bei den älteren Stimmgabeln treten mitunter statt rein longitudinalen Schwingungen des Stieles transversale Schwingungen oder Kombinationen von transversalen und longitudinalen Schwingungen störend auf, bedingt durch Unsymmetrie in Massenverteilung, Auflagerung etc. Die neueren Systeme liefern reinere Töne, da infolge ihrer Form eine genauere Symmetrie der Massenverteilung sowie exaktere Homogenität des Materials zu erreichen ist.

Wir benutzten zu unseren Versuchen eine Anzahl Stimmgabeln aus dem Instrumentarium des Physiologischen Instituts, deren Schwingungszahlen Herr Professor Dr. Karl Schaefer von der Universitäts-Ohrenklinik die Güte hatte uns anzugeben, wofür wir ihm hiermit besten Dank sagen. Die meisten dieser Gabeln hatten die König'sche Form. Um sie besser auf die Kopfoberfläche aufsetzen zu können, ließen wir einen konischen Messingschraubenknopf herstellen, der für das Gewinde der Gabeln paßte. Die breite Basis des Knopfes ließ sich dann bequem gegen die zu untersuchende Stelle drücken.

Um einen immer möglichst gleich stärken Funktionsimpuls für die Gabeln zu haben, der einen Vergleich zwischen den verschiedenen Versuchen zuließe, benutzten wir zuerst ein plattes Stück Eisen, welches zwischen die Zinken eingeführt wurde, durch

Umdrehen diese spreizte und dann beim plötzlichen Herausziehen wieder zusammenschnellen ließ. Die Gabel geriet so in Schwingungen und ertönte.

Ein einfaches Anschlagen der Gabeln mit Fingerkuppe oder Schlegel würde, da nie mit gleicher Kraft vorgenommen, niemals vergleichbare Resultate geben. Jedoch war die Ausführung der beschriebenen Methode zu unbequem, und es ergab sich die Notwendigkeit, die Stimmgabeln von verschiedener Höhe mit bestimmter abstufbarer Kraft anzuschlagen, der wir durch eine weiter unten zu beschreibende Vorrichtung zu begegnen suchten.

Wir experimentierten mit Gabeln nach König von folgenden Schwingungszahlen, unter denen sich die höchsten für unsere Zwecke ungeeignet erwiesen:

1.	2.	3.	4.	5.	
OU	O	A	E	I	
220	440	875	1740	3400	Doppelschwingungen.

Ferner kamen noch folgende älteren Systems zur Verwendung: Eine kleine „Kammerton"-Gabel, wie sie von Musikern gebraucht werden, 435. V. D., eine große Stimmgabel von etwa 110. V. D., und eine sehr große, aus Rundstahl gebogene Gabel von 30 ccm Zinkenlänge, Zinken aus 14 mm Rundstahl, deren Schwingungen daher unregelmäßig waren und einen tiefen brummenden Ton gaben.

I. Versuchsreihe (Vorversuche).

a) Eine mit dem Messingknopf versehene Stimmgabel wurde durch Spreizung zum Tönen gebracht und am Warzenfortsatz, Schläfe, Stirn, sodann zwischen fest zubeißende Zahnreihen gesetzt. Der Versuch wurde bei offenem sowie durch Kork, Watte verstopftem Gehörgang unternommen:

Resultat:

Es zeigte sich bei offenem wie verstopftem Gehörgang eine Ueberlegenheit der Zahnleitung gegenüber der gewöhnlichen Kopfknochenleitung.

b) Die Gabel wurde auf Oberkiefer- oder Unterkieferzahnreihe allein aufgesetzt, um Leitfähigkeit des Ober- und Unterkiefers im Verhältnis zueinander festzustellen:

Resultat:

Bei offenem Gehörgang wurde eine geringe Ueberlegenheit der Leitung durch den Oberkiefer festgestellt, die deutlicher war bei tiefen Tönen. Bei verstopftem Gehörgang schien dagegen der Unterkiefer ein wenig besser zu leiten.

c) Die Prüfung der einzelnen Zahnreihenleitungen im Vergleich zur übrigen Kopfknochenleitung, ebenso vorgenommen, ergab stets Ueberlegenheit der Zahnleitung.

d) Es wurde bei den einzelnen Zahnreihen durch Aufsetzen der Gabel auf die Frontzähne, Prämolaren, Molaren, versucht, festzustellen, ob die Leitfähigkeit von mehr oder weniger vom Gehörgang entfernten Zähnen verschieden wäre. Ein Unterschied wurde nicht gefunden, weder bei offenem noch bei geschlossenem Gehörgang.

Bei dieser Versuchsreihe wurden 6 Gabeln verwendet und zwar von fogelnden Schwingungszahlen:

Große	OU	O	A	E	I
110	220	440	875	1740	3400

Die Gabel I war durch Kopfknochenleitung gar nicht zu hören. Bei verstopftem Gehörgang wurden, wie allgemein bekannt ist, die Klänge lauter gehört.

Die Versuche wurden von 6 Beobachtern ausgeführt und setzen sich aus einer großen Zahl von Einzelbeobachtungen zusammen.

Die Beobachter waren meist jugendlichen Alters, zur Hälfte weiblichen Geschlechtes, normalhörig, und hatten teils guten, teils schlechteren Zahnbestand.

Setzte man die Gabel auf die Gingiva, so war die Schallleitung an beiden Kiefern schlechter als die Leitung durch die Zähne.

Einer der Beobachter trug anstelle der Frontzähne Plattenersatz. Es zeigte sich, daß künstliche Zähne sowie Kautschukplatten den Schall schlechter leiteten als eigene Zähne. Brücken- und Stiftzahnersatz leitete wie normaler Zahnbestand.

Die Versuche über Zahnleitung kann man auch in einer Form machen, die etwas Ueberraschendes hat und insofern be-

sonders überzeugend wirkt, als die Schallwellen der Zahnleitung dabei von einem zweiten Beobachter wahrgenommen werden:

Wird zwischen der oberen Zahnreihe der Versuchsperson und der oberen Zahnreihe eines Beobachters eine Schalleitung hergestellt, etwa durch einen dünnen Eisenstab, und setzt die Versuchsperson gegen einen Zahn des Oberkiefers eine angeschlagene Stimmgabel, so vernimmt der Beobachter den Ton.

Der Versuch gelingt auch, wenn die verbindende Schalleitung von der unteren Zahnreihe zur unteren Zahnreihe führt; ebenso, wenn sie von der unteren Zahnreihe zur oberen führt und umgekehrt.

Wir haben den Versuch auch mit Hilfe der weiter unten beschriebenen Vorrichtung angestellt, indem der Schall von den Zähnen der Versuchsperson auf eine Beißplatte übertragen wurde, die durch einen Draht mit Kopfband auf kranio-tympanalem Wege den Schall dem Beobachter übermittelte. Auch hier gelang die Uebertragung, wenn die unmittelbar von der Stimmgabel berührte Zahnreihe von der Basisplatte durch eine Gummischeibe isoliert war.

Grundsätzlich Neues bietet dieser Versuch nicht, da sich schon in älteren Schriften die Angabe findet, daß sogar auf dem Luftwege gehörte Töne durch Resonanz in den Kopfknochen einem mit dem Stetoskop an beliebiger Stelle des Kopfes horchenden Untersucher vernehmlich sind (Nagel's Handbuch, Seite 573).

II. Versuchsreihe:

Die Ergebnisse dieser Vorversuche suchten wir in einer zweiten Versuchsreihe zahlenmäßig festzulegen. Um Gleichförmigkeit der Bedingungen herbeizuführen, suchten wir zunächst dafür zu sorgen, daß der Anschlag an die Stimmgabel immer mit gleicher Energie stattfände. Ferner war es nötig, daß die Stimmgabeln nicht nur mit der Hand gegen die Zähne oder Kopfknochen gedrückt würden, wobei die Bedingungen für die Schalleitung beträchtlich schwanken könnten, sondern daß eine stets gleichmäßige Zuleitung des Schalles ermöglicht werde. Wir bedienten uns zum Zwecke des gleichmäßigen Anschlages einer von gleichem Anfangswinkel aus pendelnden Kugel. Die Kugel war von Eisen, hatte einen Durchmesser von 14 mm, wog 12 g, und war mit

einem Häkchen versehen, mit dem sie an einem Faden aufgehängt wurde. An einem am Tischrand angeschraubten Stativ wurde eine Stimmgabel in einer Klemme vertikal fest eingespannt und zwar so, daß nur die Mitte des Gabelstieles eingeklemmt war, während Mittelteil und Zinken frei nach unten, das Stielende frei nach oben vorragte. In geeigneter Entfernung von der Gabel befand sich ein feststehender Elektromagnet, der bei Stromschluß die Kugel festhielt. Beim Oeffnen des Stromes begann sie ihre Pendelschwingung, schlug gegen die Seiten, die Breitfläche, der ihr zugewendeten Gabelzinke und brachte die Gabel zum Ertönen. Um zu erreichen, daß die Kugel nur einmal anschlug, wurde in empirisch ausregulierter Entfernung und Höhe ein Stab quer zwischen Stimmgabel und Kugelpendel angebracht, der den Schwung hemmte, sodaß die Kugel beim zweiten Schwung nicht mehr die Stimmgabel erreichte. Dadurch war also ein stets gleich starker Anschlag hergestellt. Es zeigte sich aber, daß die Schallstärke, mit der die tieferen Stimmgabeln bei diesem Anschlag ertönten, bedeutend größer war, als die der Gabeln von höherer Schwingungszahl bei demselben Anschlag. Wir mußten also, um vergleichende Versuche mit Gabeln verschiedener Höhe anstellen zu können, verschiedene Abstufungen der Energie des Kugelpendels anwenden. Dies war an sich leicht zu bewerkstelligen, indem der Magnet entfernt oder genähert wurde, sodaß die Kugel mit größerem oder geringerem Anfangswinkel pendelte. Unter diesen Umständen war allerdings die oben aufgestellte Forderung nicht erfüllt, daß der Anschlag bei allen Versuchen der gleich sein sollte. Wir halfen uns damit, daß wir für jede der zu denVersuchen benutzten Gabeln die Stärke des Pendelschwunges so bemaßen, daß das Tönen der Stimmgabel von der Versuchsperson in bestimmter Entfernung annähernd gleich lange Zeit vernehmlich blieb. Um nun nach Belieben das Leitungsvermögen von den Kopfknochen oder den Zähnen aus untersuchen zu können, wurde zunächst probeweise die eingespannte Stimmgabel vermittels eines Drahtes mit den Zähnen oder dem Kopfe der Versuchsperson verbunden! Der Draht war an seinem einen Ende mit einer kleinen Schleife versehen, die über das aus dem Klemme herausschauende Stück des festsitzenden Stieles der Gabel geschoben wurde. Am anderen Ende

wurde für die Untersuchung der Schalleitung der Zahnreihen zunächst ein beliebiges Metallstück (wir nahmen dazu eine der Messingmuttern, die an die Stimmgabelstiele gehörten) befestigt, das zwischen beiden Zahnreihen gehalten wurde. Um den Schall durch den Draht auf die übrige Kopfknochenleitung zu übertragen, wurde eine Schlinge aus dickem Draht um den Kopf gelegt. Indem die Versuchsperson sich rückwärts oder vorwärts lehnte, konnte sie den Draht nach Belieben anspannen oder nachlassen. Diese Anordnung bewährte sich überraschend gut: Erfolgte der Kugelanschlag an die Stimmgabel, so wurde von dieser der Schall auf die Zahnreihen oder die Schädelknochen übertragen und von der Versuchsperson sehr deutlich wahrgenommen.

Um nun einen zahlenmäßigen Vergleich zwischen der Schallwahrnehmung durch die Kopf-Knochenleitung und durch die Zahnleitung durchzuführen, bedienten wir uns des oben erwähnten, von den Ohrenärzten allgemein angewendeten Verfahrens zur Prüfung der Hörschärfe, nämlich der Messung der sogenannten „Hördauer", d. h. der Zeit, die vom Augenblick des Anschlagens der Stimmgabel bis zu dem Zeitpunkte verstreicht, an dem der Klang für die Versuchsperson unter den gegebenen Bedingungen nicht mehr wahrnehmbar ist. Die Versuchsperson öffnete, nachdem sie sich durch den Draht mit der Stimmgabel verbunden hatte, mit der einen Hand den Schlüssel der elektrischen Leitung zu den Magneten und löste dadurch den Schwung der Kugel aus. Mit der anderen Hand drückte sie, sobald die Stimmgabel ertönte, auf eine Stoppuhr, die sie dann zum Stehen brachte, sobald sie den Klang nicht mehr hören konnte. Wenn der so gemessene Zeitraum bei Zuleitung des Schalles an den Zähnen größer ausfiel, als bei der Leitung zu dem Schädel, so durften wir schließen, daß die Schalleitung durch die Zähne der durch die Schädelknochen überlegen sei.

Als Drahtleitung wurde anfänglich ganz dünner Messingdraht genommen, von 1 m Länge und 0,7 mm Dicke, wie ihn der Zahnarzt für orthodontische Zwecke benutzt. Der Kopfbügel bestand aus 1,55 mm dicken Eisendraht.

Ergebnisse der Versuchsreihe 2a.

Diese Versuchsreihe, die Vorprobe unserer messenden Versuche, wurde von nur 2 Beobachtern gemacht und zwar mit folgenden Gabeln:

Große	OU	O	E
110	220	440	1740

und bestand aus je 6—12 Einzelversuchen, von denen der Durchschnitt genommen wurde. Es wurde nur der Unterschied zwischen kranialer und maxillarer Zahnleitung bei offenem Gehörgang gesucht und gefunden, daß die Zahnleitung der kranialen überlegen war. Bei diesen Versuchen fiel die Kugel bei allen Gabeln aus gleicher Höhe.

Da es sich als äußerst unbehagliches Gefühl erwies, ein beliebiges Metallstück zwischen den Zähnen zu halten, außerdem dabei auch nur ganz wenige Berührungspunkte mit den Zahnreihen vorhanden sind, und wir auch prüfen wollten, ob besserer Kontakt mit den Zähnen die Schalleitung günstig beeinflusse, fertigten wir eine genau passende Kauflächenschablone aus Zinn an, die, aus einem Stück bestehend, beiden Zahnreihen beim Aufeinanderbeißen in allen Punkten der Kaufläche anlag und so die durch den Draht zugeleiteten Schallwellen gleichmäßig auf dans ganze Gebiß übertragen konnte.

Die Schablone wurde auf folgende Weise hergestellt: Es wurde auf eine dicke Rosawachsplatte, wie sie die Zahnärzte bei ihren technischen Arbeiten benutzen, aufgebissen. Die Bißfläche wurde ausgeschnitten, modelliert, in Einbettungsmasse eingebettet und mit Zinn abgegossen. In der Mitte, vor den Frontzahneindrücken, wurde die Schablone durchbohrt, der von der Stimmgabel kommende Draht durch das Loch gesteckt und mit der Zange zusammengedreht.

Ergebnis der Versuchsreihe 2b mit der Schablone.

Wie wir erwartet hatten, erwies der Versuch, daß die Schablone den Schall etwas besser leitete, als das bis dahin benutzte Messingstück.

Im übrigen stimmten die Versuche mit der Schablone mit den früheren überein, und bewiesen, nur etwas deutlicher, daß die Zahnleitung der kranialen überlegen sei.

Für den Zweck der Versuche machte es also keinen Unterschied, ob die Berührung zwischen Schalleitung und Zähnen

etwas vollkommerner ist oder nicht. Wir hielten es deshalb auch nicht für notwendig, für jede Versuchsperson eine solche Metallschablone anzufertigen, sondern beschränkten uns darauf, alle Versuche von einer Versuchsperson mit der Metallschablone durchmachen zu lassen. Für die anderen Versuchspersonen beschafften wir eine Beißplatte aus Hartgummi, die auf beiden Oberflächen geriffelt war, damit sie von den Zähnen gut festgehalten werden könne. Diese Hartgummiplatte konnte von allen Versuchspersonen benutzt werden, sie lag den Zähnen weit besser an, als das zuerst benutzte Messingstück und leitete auch den Schall besser als dieses, aber nicht ganz so gut wie die Zinnschablone.

Wenn die Hartgummiplatte zwischen den Zähnen gehalten wurde, übertrug sie natürlich die Schallwellen, die ihr durch den Draht zugeleitet wurden, auf beide Zahnreihen, sowohl auf die des Oberkiefers wie auf die des Unterkiefers. Wollten wir aber die Schalleitung durch den Oberkiefer und die durch den Unterkiefer jede für sich untersuchen, so mußten wir dafür sorgen, daß der Schall von der Platte aus nur auf die oberen oder unteren Zähne übergehen könne. Dies war leicht dadurch zu erreichen, daß zwischen die Hartgummiplatte und diejenige Zahnreihe, auf die der Schall nicht übertragen werden sollte, eine 2—3 mm dicke Platte aus elastischem Gummi gelegt wurde. Wenn beide Flächen der Hartgummiplatte auf diese Weise mit Weichgummi abgedeckt waren, hörte die Versuchsperson bei noch so starkem Beißdruck auf die Platte von dem Klang der Stimmgabel nichts. Wir durften also annehmen, daß, wenn etwa der elastische Gummi zwischen die Platte und den Oberkiefer eingeschoben war und der Klang der Stimmgabel von der Versuchsperson wahrgenommen wurde, die Schalleitung ausschließlich durch den Unterkiefer ginge und umgekehrt.

Durch diese Anordnung waren wir in den Stand gesetzt, die Frage, der unsere Untersuchung hauptsächliches galt, durch den Versuch zu beantworten: Ob die Schalleitung von den oberen und den unteren Zähnen aus verschieden sei?

Ferner ersetzten wir die Drahtschlinge, die bei der Prüfung der Kopfknochenleitung um den Kopf der Versuchsperson gelegt worden war, durch einen Bügel von 25 mm breitem Bandeisen, der durch eine Bolzenschraube für jede Versuchsperson auf passende

Weite eingestellt werden konnte. Der Draht wurde durch zwei Löcher in den Enden des Bandes gesteckt und mit der Zange zusammengedreht. Es zeigte sich, daß ein dickerer Eisendraht (1,55 mm) den Schall besser leitete als der vorher verwendete dünne Messingdraht. Wir nahmen daher den Eisendraht in Gebrauch und fanden zu unserer Ueberraschung, daß er, um den Schall gut zu leiten, keineswegs gradlinig ausgespannt zu sein brauchte. Im Gegenteil, wenn man während eines Versuches die Spannung soweit nachließ, daß der Draht ganz krumm stand, wurde dabei die Schalleitung merklich besser.

Ergebnisse der Vorversuche zur dritten Versuchsreihe III a.

Die Beobachtungen, die wir während der Prüfung der beschriebenen Versuchsanordnung machten, bestätigten wieder die Ueberlegenheit der dentalen Leitung gegenüber der kranialen. Bei den Versuchen mit verstopftem Gehörgang waren, wie zu erwarten, die für die Hördauer gefundenen Zeiten größer.

III b) Mit der im Vorstehenden beschriebenen Versuchsanordnung wurden an 7 Versuchspersonen (Männer im Alter von 20—30 Jahren) bei verschiedenen Tonhöhen die Schalleitung durch die Luft, durch die Kopfknochen, durch die Zähne, durch die obere Zahnreihe allein und durch die untere Zahnreihe allein untersucht. Dazu waren im Ganzen gegen 300 einzelne Messungen erforderlich, obgleich nicht alle die aufgezählten Proben an allen Personen gemacht wurden. Die Zahnleitung wurde sowohl mit der Schablone, wie mit der Hartgummiplatte geprüft. Alle Versuche wurden sowohl bei offenem wie bei geschlossenem Gehörgang ausgeführt.

Die Messungen verliefen etwa in folgender Weise: Die Versuchsperson setzte sich in 2 m Entfernung von der eingespannten Stimmgabel und nahm die Stoppuhr in die Hand. Dann wurde der Strom zum Elektromagneten unterbrochen. Die Kugel schwang gegen die Stimmgabel und die Versuchsperson hielt die Uhr an, sobald sie den Klang der Stimmgabel nicht mehr wahrnehmen konnte. Je nach der dabei gefundenen Zeit wurde dann der Abstand des Magneten von der Gabel so reguliert, daß die Hördauer 30 sec. betrug. Dieser Teil des Verfahrens brauchte

natürlich nur ausgeführt zu werden, wenn die Stimmgabel gewechselt wurde. Dann rückte die Versuchsperson näher heran, bekam den Bügel um den Kopf oder die Beißplatte mit oder ohne die elastische Deckplatte in den Mund und die Hördauer wurde unter den verschiedenen angeführten Bedingungen gemessen. Die Ergebnisse sind in folgender Zahlenübersicht zusammengestellt:

Tabelle I (Durchschnittszahlen).

Beobachter:	1	2	1	3	1	1	4	5	6	1	1	1	7	1—7		
Gabel	110		220 (OU)		435	440 (O)		875 (A)		1740 (E)				I	Große Gabel aus Rundstahl	
	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.	sec.		sec.	sec.
Kopfleitung	45		73	11	-	55	—	53	—	64	36,6	42	39		—	33,5
dto. mit verstopftem Gehörgang	52	28	92	35	39	73	44,5	67		85	31	44	32		78	75
Zahnleitung mit Hartgummiplatte	—	24,6	—	—	—	64		60	—	—	36,8	44	41			53
dto. mit verstopftem Gehörgang	—	30	—	98	—	107	49	78	-	-	36,8	51	-			72
dto. m. Zinnschablone	58	-	91	—	—	-	--	—	—	83	42	—	—		—	—
dto. m. verstopft. Gehörgang	74	-	118	—	59,5	—	—	—	-	111	50	50	—		101	—
Oberkiefer	42	24,1	—	—	—	66	—	—	56	78	36	40	40		--	61
Unterkiefer	42	16		—	-	69	--	—	53	84	41	39,5	39		—	38,3
Oberkiefer mit verstopftem Gehörgang	81	35,6	125	81	50,5	107	36,8	—	75	104	37	45	37		81	83
Unterkiefer mit verstopftem Gehörgang	--	20	152	63	46,5	108	48	—	69	123	47	45	40		83,5	75

Ergab keine Kopfknochenleitung

Das Ziel unserer Messungen war, zu erkennen, wie stark der Schall bei den verschiedenen Arten der Zuleitung wahrgenommen werde. Da wir aber die Stärke der Empfindung selbst nicht messen konnten, müssen wir uns mit Messung der Hördauer begnügen. Wie oben (Seite 12) schon ausgeführt worden ist, würde die Hördauer unter der Voraussetzung, daß die Schallstärke beim Abklingen der Stimmgabel genau proportional der Zeit abnehme, und daß die Empfindungsstärke ebenfalls genau proportional mit der Schallstärke abnehme, ein exaktes Maß der Empfindungsstärke abgeben. Da diese Voraussetzungen nicht streng erfüllt sind, ist auch die Hördauer kein exaktes Maß der Empfindungsstärke. Sie läßt nur insofern Schlüsse auf die Empfindungsstärke zu, als bei gleicher anfänglicher Schallstärke längere Hördauer im allgemeinen einer größeren, kurze einer geringeren Empfindungsstärke entspricht. Die Stärke der Empfindung hängt bei gleicher Schallstärke von der Güte der Schallleitung ab. Im großen und ganzen können also die Zahlen der Uebersicht als Maß für die Güte der Schalleitung betrachtet werden. Dann können auch die Unterschiede der Schalleitung bei den verschiedenen Anordnungen der Versuchsreihe nach dem Unterschiede der Hördauer bemessen und zahlenmäßig in etwa Hundertteilen ausgedrückt werden.

Unter diesem Gesichtspunkte ergibt sich aus den angegebenen Zahlen folgendes:

1. Die dentale Leitung war im Durchschnitt aller Versuche um mehr als 20% besser als die kraniotympanale.
2. Auch die dentimandibulare Leitung war besser als die kraniotympanale.
3. Die dentimaxillare Leitung war um etwa 5% besser als die dentimandibulare.
4. Bei verschlossenem Gehörgang war die Hördauer bei dentaler Leitung wie bei kranialer Leitung vergrößert. Die dentale Leitung war aber wie bei offenem Gehörgang besser als die kraniale.
5. Zwischen dentimaxillarer und dentimandibularer Leitung war bei verschlossenem Gehörgang kein merklicher Unterschied. Die Leitung durch den Unterkiefer war sogar besser gefunden als die durch den Oberkiefer.

6. Was die Unterschiede in der Schalleitung von Tönen verschiedener Höhe betrifft, so sind nur die Versuche mit den 5 annähernd gleichgeformten Stimmgabeln von der Tonhöhe 110 1740 einigermaßen miteinander vergleichbar. Es bedarf keiner besonderen Erklärung, daß die kleine Kammertonstimmgabel, obgleich sie dieselbe Tonhöhe hatte wie eine der größeren Gabeln, doch nur viel kürzere Hördauer ergibt, und daß umgekehrt die ganz große Stimmgabel aus Rundstahl viel länger ihre Schwingungen beibehält und deshalb auch länger gehört wird als die anderen. Vermutlich wegen der unvermeidlichen Unterschiede in der Schallintensität der verschiedenen Gabeln stimmen die Versuchsergebnisse nicht gut überein. Es läßt sich nur mit Sicherheit erkennen, daß der Ton von 1740 Schwingungen merklich schlechter geleitet wird als die Töne von 220—875 Schwingungen, und daß der tiefe Ton von 110 schlechter geleitet wird als die mittelhohen Töne. Ganz hohe Töne werden überhaupt nicht geleitet.

In nachstehender Tabelle II sind die Ergebnisse aller Versuchsreihen übersichtlich zusammengefaßt. Aus der Tabelle ist zu ersehen, daß alle Versuchsreihen, die mit verschiedenen Anordnungen vorgenommen wurden, in ihren Resultaten übereinstimmen.

Tabelle II.

Versuche bei: offenem Gehörgang, verstopftem Gehörgang.

Versuchsreihe	I	II. a	II. b	III a.	III b.	I.	IIIa.	IIIb.
Schädelknochenleitung								
dentikraniale Totalleitung	besser	besser	besser	besser	besser um ca. 20 %	besser	besser	besser um ca. 20 %
Schädelknochenleitung								
Einzelne Zahnreihe	besser				besser	besser		besser
Oberkiefer	besser				besser um ca. 5 %	Unterschied sehr gering Unterk. besser		besser um ca. 5 %
Unterkiefer								
Frontzähne	kein Unterschied					kein Unterschied		
Seitenzähne								
Gingiva	do.					do.		
Kautschukplatte, künstl. Zahnersatz	do.					do.		
Kronen, Brücken, Stiftzähne	wie bei natürl.					wie bei natürl.		
	Seite 14—16	Seite 18	Seite 19	Seite 21	Seite 21	Seite 14—16	Seite 21	Seite 21

Es lag uns bei unserer Arbeit vor allem daran, festzustellen, ob ein Unterschied zwischen der Leitfähigkeit des Oberkiefers und der des Unterkiefers besteht. Eigentlich sollte man annehmen, daß der vom übrigen Schädel getrennte und mit ihm nur in loser Verbindung stehende Unterkiefer der schlechtere Leiter sein würde. Die von ihm führende Schalleitung geht über Weichteile und knorplige Verbindungen zum Gehörendorgan, während die Oberkieferleitung reine Knochenleitung darstellt.

Wie wir bereits bei unseren Versuchen mitteilten, isolierten wir die Schalleitung von der Zinkschablone auf die Zähne vollständig durch Auflegen von ca. 3 mm starken Weichgummischeiben auf Ober- und Unterseite der Schablone. Diese Weichgummischeiben, die wir wohl mit den Weichteilen vergleichen können, stellten also ein absolutes Schalleitungshindernis dar und gerade dieser Versuch könnte uns noch in unserer Annahme bestärken, daß der Unterkiefer, durch Weichteile etc. vom Schädel getrennt, der schlechtere Leiter sei. Ferner ist es auffällig, daß bei der kranialen Leitung die Kopfschwarte nicht gleich der Gummischeibe den Schall abfängt, sondern doch noch Schallübertragung zuläßt und kein absolutes Hindernis darstellt, wie man es nach dem Gummischeibenversuch erwarten möchte. Sollte vielleicht bei der Knochenleitung die vorhandene Gewebeflüssigkeit eine größere Rolle spielen als man ihr bisher zuerteilte? Wir möchten die Frage bejahen. Es besteht also keine reine Knochenleitung, der Name ist irreführend, denn immer ist sie mit Weichteilleitung verbunden.

Entgegen dem Anschein fanden wir lt. unserer Tabelle, daß der Oberfiefer mit seiner „Knochenleitung“ nicht viel besser den Schall überträgt als der Unterkiefer. Sollten beim Unterkiefer vielleicht die gespannten Muskeln die Schallübertragung begünstigen? Die Bedeutung dieser Muskelspannung für die Schalleitung will uns aber nicht recht einleuchten, wenn wir daran denken, daß bei unseren Versuchen der der schalleitende Draht schlechtere Resultate gab, wenn wir ihr straff anspannten, dagegen bessere, wenn er weniger gespannt war. Die Spannung des Drahtes ergab also höchstens schlechtere Resultate. Auch war festes Aufbeißen auf die Schablone, Zusammenpressen der Zahnreihen, somit angespannte Muskulatur, bei unseren Ver-

suchen nicht ausschlaggebend für die Güte der Schalleitung.

Man hat sich bemüht zu ermitteln, warum die Knochenleitung schlechter als die Luftleitung ist. Einige der divergierenden Meinungen sollen hier angeführt werden.

Nach Bezold (15) liegt der Grund darin, daß bei der Knochenleitung die Schallwellen den Schalleitungsapparat von der Kante her treffen und deshalb weniger wirksam sind als bei der Luftleitung, wo sie das Trommelfell und ligamentum annulare gerade treffen. Außerdem tritt bei der Knochenleitung durch Schädelerschütterung eine molare Gegenbewegung ein, die als Antagonist der molekularen Schwingungen der Schalleitungskette auftritt. Daher muß die Knochenleitung schlechter sein als die Luftleitung (auch Brünings ist dieser Meinung).

A. Rejto's (12), Budapest, Erklärung ist folgende: Ausschließlich durch den Reiz des Hörnerven, die Wellenbewegung der Labyrinthflüssigkeit, die die membrana tectoria zum Mitschwingen bringt, kommt sowohl bei Luft-, wie bei Knochenleitung die Tonempfindung zustande. Diese Wellenbewegung entsteht aber in den beiden auf verschiedene Weise. Bei der Luftleitung durch Stapesvibration, bei der Knochenleitung durch direkte Energieübertragung auf die Labyrinthflüssigkeit, wo sie von innen nach außen auf das Paukenfenster wirkt. Es entsteht wiederum eine Wellenbewegung, aber in zwei Richtungen, da die Energie auf beide Membranen gleichzeitig wirkt, während bei der Luftleitung Wellenbewegung in nur einem Sinne besteht. Durch diese zweiseitige Wirkung der Knochenleitung wird die Wellenbewegung abgeschwächt und deshalb ist die Knochenleitung der Luftleitung unterlegen.

Aehnlich wie um diese umstrittene Frage, steht es um unsere Frage, warum der Unterkiefer nicht viel schlechter leitet als der Oberkiefer. Die physikalischen Vorgänge bei der Leitung des Schalles durch verschiedenartige Medien sind überhaupt noch wenig bekannt. Insbesondere wird die Schalleitung durch die Weichteile erst viel genauer erforscht sein müssen, bevor man mit einiger Sicherheit den Grund wird angeben können, warum zwischen der Schalleitung durch den Oberkiefer und der durch den Unterkiefer so wenig Unterschied ist.

Wir haben ferner bestätigt gefunden, daß nach Verschließen des Gehörganges mit Kork, Watte etc. die Hördauer größer war. Diese Erscheinung ist von Tourtual und Wheatstone, später von E. H. Weber angegeben und von den Ohrenärzten längst für diagnostische Zwecke nutzbar gemacht. Sie entsteht nach Mach dadurch, daß die Schallwelle durch den Verschluß des Gehörganges verhindert ist, sich außen in die freie Luft zu verbreiten. Lucae (15) erklärt sie durch vermehrten Labyrinthdruck und Resonanz der Luft im Gehörgang und Paukenhöhle.

Bei verschlossenem Gehörgang fanden wir nun, daß der Unterkiefer im Vergleich zum Oberkiefer, nicht nur ebenso gut, sondern sogar um ein geringes besser leitete. Dies kann mit großer Wahrscheinlichkeit durch die unmittelbare Nachbarschaft zwischen Kiefergelenk und äußerem Gehörgang erklärt werden. Daß zwischem dem Kiefergelenk und dem äußeren Gehörgang Beziehungen bestehen, beweist folgender Versuch:

Verschließt man den Gehörgang mit einem durchbohrten Pfropfen, der durch einen Gummischlauch mit einer in Wasser tauchenden Glasröhre verbunden ist, und öffnet darauf den Mund so weit, daß der Condylus des Unterkiefers auf das Tuberkulum articulare hinaufgleitet, so steigt das Wasser in der Röhre sichtlich an, ein Zeichen, daß sich der abgeschlossene Raum des Gehörganges bei der Bewegung erweitert hat.

Vergleichen wir die dentikraniale Leitung mit der kranialen Leitung, so zeigt unsere Tabelle ein Ueberwiegen der ersteren. Dasselbe Resultat erzielte Phleps (15), der sich ebenfalls mit Stimmgabelversuchen über Knopfknochenleitung beschäftigte und fand, daß die Leitung von den Zähnen aus, besonders den Schneidezähnen, die beste sei. Letzteres konnten wir nicht feststellen. Ein Unterschied zwischen Schneidezähnen und Backzahnleitung wurde von uns nicht gefunden. Nach Phleps leiten die vorderen Schädelanteile (Stirn, Schläfe) deshalb schlechter als die hinteren, weil sie mehr mit Weichteilen bedeckt sind. Vom Warzenfortsatz aus ist die Schalleitung besser. Die von Weichteilen freien Zähne leiten am besten, also gegen die übrige Kopfknochenleitung im Verhältnis zu den sie bedeckenden Weichteilen.

Wie wir sahen, ergab die Schalleitung von der Gingiva beider Kiefer aus sehr niedrige Werte. Der Grund dafür mag

wohl hauptsächlich darin liegen, daß infolge Schmerzhaftigkeit die Stimmgabel weniger fest hierauf gedrückt werden kann als auf die übrigen Kopfknochen.

Wenn die anfänglich gestellte Frage nach dem Unterschied der Schallwahrnehmung bei Leitung durch den Ober und den Unterkiefer zwar nicht vollständig beantwortet worden ist, so weisen doch die mitgeteilten Beobachtungen auf einen Weg hin, die Vorgänge bei der Kopfknochenleitung genauer kennen zu lernen. Wir glauben, daß die Versuchstechnik, die wir angewendet haben, bei weiterer Vervollkommnung das Verhalten von Schallwellen von verschiedener Tonhöhe deutlich wird beurteilen lassen, und daß die Leitungsfähigkeit einzelner Teile des Kopfes oder auch der verschiedenen Gewebe sich wird erforschen lassen.

Unsere Beobachtungen können dann als Beweis dienen, daß die sogenannte Knochenleitung keine reine Knochenleitung ist. Mangold (16) hat daher mit Recht die Bezeichnung „Gewebeleitung“ eingeführt.

Literatur.

1. Kisch, Privatdozent Dr. Bruno: Vergleichende Untersuchung der Luft-Knorpel-Knochenleitung beim Normalhörigen und Mittelohrschwerhörigen. In Beiträgen zur Anatomie, Physiologie, Pathologie und Therapie des Ohres, der Nase und des Halses. Herausgeber Q. Passau u. K. L. Schäfer, Heft 5/6, S. 329—341.
2. — Zeitschrift für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, 1925. S. 585.
3. Kretschmann, Ueber Mittönen fester und flüssiger Körper. Verhdl. d. otologischen Gesellschaft. 1905.
4. Geigel, Die Bedeutung der Ohrmuschel für das Hören. Münchener Med. Wochenschrift 1907.
5. Luciani, Lehrbuch der Physiologie, 1905.
6. Tonndorf, Privatdozent Dr. W.: Zeitschr. f. Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde. 1925. S. 585.
7. Broemser: Einführung in die Physik. 1925. München.
8. Kleiber-Nath: Physik, Berlin-München. 1920.
9. Du Bois-Reymond, Prof. Dr. René: Physiologie des Menschen und der Säugetiere. Berlin 1913.
10. Edelmann, Dr. M. Th.: Leitfaden der Akustik für Ohrenärzte. München-Berlin 1911. Verlag v. Karger.
11. Gradenigo, G.: Sulla Transmissione ossea dei suoni etc., in Archives Neerlandaises de Physiol. de l'homme et des animaux, 1922, La Haye. Bd. 7, S. 51—54.
12. Rejito, Q., Budapest: Zeitschr. f. Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, 1925.
13. L. Jacobson u. W. Cowl: Ueber die Darstellung und Messung der Schwingungs-Amplituden aus klingenden Stimmgabeln mit Hilfe der Linear-Kinomatographie, Archiv für Anatomie und Physiologie (Physiologische Abtlg.) 1903, S. 1.
14. Prof. Schäfer in Nagels Handbuch der Physiologie, Bd. 3. S. 573.
15. Zitiert nach: Handbuch der Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Bd. VI: Gehörorgan, Bd. 1, S. 389—572. Verlag Jul. Springer, Berlin, u. J. F. Bergmann, München.
16. Mangold, Ernst: Das äußere und mittlere Ohr und ihre physiologischen Funktionen im Handbuch der normalen u. patholog. Physiologie, 11. Bd. Verlag Jul. Springer, Berlin.

Lebenslauf.

Geboren am 8. Februar 1895 zu Berlin. Bis 1912 besuchte ich in Berlin das Gymnasium, das ich mit Obersekundareife verließ. Von 1912—13 gehörte ich der Handelsmarine zuerst als Kadett und dann als Zahlmeisteraspirant an. Mitte 1913 ging ich zum Besuch Verwandter nach Brasilien, wurde durch den Krieg festgehalten und kehrte erst 1922 nach Berlin zurück. In Brasilien war ich Student der International Correspondence School in S. Paulo, absolvierte in dieser Schule den Kursus für Vermessungswesen, den ich beendete, um dann als Landmesser, Ingenieur im Eisenbahnfelddienst und selbständig zu arbeiten. 1922 kam ich nach Berlin zurück, bereitete mich sofort auf das Abitur vor, das ich am 8. 5. 23 auf dem Falk-Realgymnasium bestand. Ich widmete mich dann sofort der Zahnheilkunde am zahnärztlichen Institut dieser Universität und wurde am 27. Juni 27 als Zahnarzt approbiert. Seitdem arbeite ich als Assistenzarzt.